

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 11072639
PUBLICATION DATE : 16-03-99

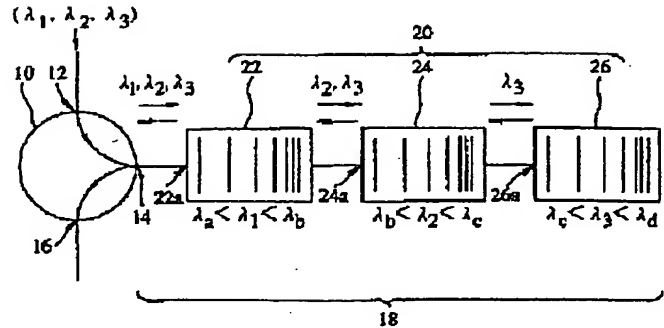
APPLICATION DATE : 28-08-97
APPLICATION NUMBER : 09233041

APPLICANT : OKI ELECTRIC IND CO LTD;

INVENTOR : NOMOTO TSUTOMU;

INT.CL. : G02B 6/16 G02B 6/10

TITLE : WAVELENGTH DISPERSION
COMPENSATOR AND WAVELENGTH
DISPERSION COMPENSATION FIBER



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To compensate the wavelength dispersion of light signals of plural wavelengths over a wide wavelength band without increasing the length of chirped fiber gratings.

SOLUTION: The surface of an optical fiber 18 is provided with a first chirp grating 22, second chirp grating 24 and third chirp grating 26 from the input/ output port 14 side of an optical circulator 10 in order of the shorter wavelengths of the Bragg reflection wavelength band. The respective chirp gratings are disposed by directing the grating ends on the side where the intergrating spacings are wider toward the optical circulator 10 side respectively on the optical path 18.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-72639

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月16日

(51) Int.Cl.⁹

識別記号

F I

G 0 2 B 6/16
6/10

G 0 2 B 6/16
6/10

C

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-233041

(22) 出願日 平成9年(1997) 8月28日

(71) 出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(72) 発明者 佐々木 健介

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気
工業株式会社内

(72) 発明者 尾関 幸宏

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気
工業株式会社内

(72) 発明者 野本 勉

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気
工業株式会社内

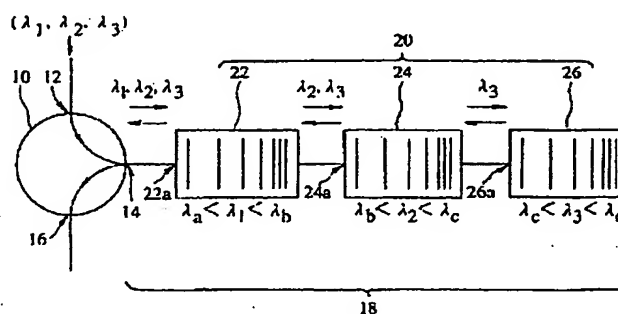
(74) 代理人 弁理士 大垣 孝

(54) 【発明の名称】 波長分散補償器および波長分散補償ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 チャープドファイバグレーティングを長尺化することなく、広い波長帯域わたる複数の波長の光信号の波長分散の補償を図る。

【解決手段】 光ファイバ18上に、ブラッグ反射波長帯域の波長が短い順に、光サーキュレータ10の入出力ポート14側から、第1チャープ・グレーティング22、第2チャープ・グレーティング24および第3チャープ・グレーティング26を設けてある。各チャープ・グレーティングは、格子間隔の広い側のグレーティング端をそれぞれ光路18上で光サーキュレータ10側に向けて設けてある。



10: 光サーキュレータ 12: 入力ポート
14: 入出力ポート 16: 出力ポート
18: 第1光路(光路) 20: チャープ・グレーティング
22: 第1チャープ・グレーティング
22a, 24a, 26a: グレーティング端
24: 第2チャープ・グレーティング
26: 第3チャープ・グレーティング

第1の実施の形態

【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力ポート、入出力ポートおよび出力ポートを有する光サーキュレータと、前記入出力ポートに接続された光路上に直列に設けられた、互いに異なるブラッグ反射波長帯域を有する複数のチャープドファイバグレーティングとを具え、前記チャープドファイバグレーティングの各々を、格子間隔の広い側のグレーティング端を光路上で前記光サーキュレータ側にそれぞれ向けて設けてあることを特徴とする波長分散補償器。

【請求項2】 請求項1に記載の波長分散補償器において、前記チャープドファイバグレーティングの各々を、ブラッグ反射波長帯域の波長の短い順に、前記光サーキュレータ側から設けてあることを特徴とする波長分散補償器。

【請求項3】 請求項1に記載の波長分散補償器において、前記入出力ポートを複数個とし、それぞれの前記光路上に設けられた前記チャープドファイバグレーティングの個数を同数とし、前記光路毎のこれらチャープドファイバグレーティングの前記異なるブラッグ反射波長帯域の組合せを、それぞれの前記光路で、同一の組合せとしてあることを特徴とする波長分散補償器。

【請求項4】 請求項1に記載の波長分散補償器において、前記光路を、光ファイバを以って構成してあり、該光ファイバのコアに、複数の前記チャープドファイバグレーティングをそれぞれ形成してあることを特徴とする波長分散補償器。

【請求項5】 光ファイバのコアに、互いに異なるブラッグ反射波長帯域を有する複数のチャープドファイバグレーティングを、当該光ファイバの軸方向に沿って直列にそれぞれ設けてあり、前記チャープドファイバグレーティングの各々を、格子間隔の広い側のグレーティング端をそれぞれ前記軸方向の一方の向きにそれぞれ向けて設けてあることを特徴とする波長分散補償ファイバ。

【請求項6】 請求項5に記載の波長分散補償ファイバにおいて、前記チャープドファイバグレーティングを、前記格子間隔の広い側のグレーティング端の軸方向からブラッグ反射波長帯域の波長の短い順に設けてあることを特徴とする波長分散補償ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、光信号、例えば、波長多重(WDM)光信号の波長分散補償に用いて好適な波長分散補償器および波長分散補償ファイバに関

する。

【0002】

【従来の技術】光信号は、ある程度の波長幅を有する。このため、波長1.3 μ mより伝送損失が小さい波長1.55 μ m付近の光信号がシングルモードファイバ(1.3 μ m等分散の光ファイバ)を長距離伝送する場合、この光ファイバを伝送する光信号には、伝送距離に比例して波長分散が生じる。すなわち、光信号のうちの長波長成分が短波長成分よりも遅れて伝送先に到達する。

【0003】この波長分散を補償する方法の一例が文献1:「分光研究、第45巻、第6号(1996)p.302」に開示されている。この文献に開示の技術によれば、ファイバブラッググレーティング(以下、「FBG」とも表記する。)の格子間隔を軸方向(光の導波方向)に沿って単調に変化させたチャープドファイバグレーティング(「チャープ・グレーティング」とも称する。)を用いて波長分散を補償している。

【0004】波長分散の補償にあたっては、波長分散が生じた光信号をチャープ・グレーティングへその格子間隔の広い側から入射する。入射された光信号の短波長成分は、入射端から遠い部分で反射される。一方、光信号の長波長成分は、入射端に近い部分で反射される。その結果、短波長成分と長波長成分との間には、これらの反射位置どうしの距離の2倍の光路差が生じる。その結果、この光路差の分だけ長波長成分と短波長成分との時間差を短縮して、波長分散を補償することができる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】互いに異なる複数の波長の光信号(例えば、波長多重(WDM)光信号)の波長分散を1つのチャープ・グレーティングでそれぞれ補償するためには、そのチャープ・グレーティングのブラッグ反射波長の波長帯域を、補償される光信号の波長帯域以上に広くすることが必要である。チャープ・グレーティングのブラッグ反射波長の波長帯域、すなわち補償可能な波長帯域を広くするためには、チャープ・グレーティングの最大格子間隔と最小格子間隔との差を大きくする必要がある。最大格子間隔と最小格子間隔との差を大きくして、補償可能な波長帯域を広くする方法として、例えば、次の2つの方法が考えられる。

【0006】第1の方法は、チャープ・グレーティングの長さを一定にしたままで、格子間隔の導波方向に沿った変化の割合(以下、「勾配」とも称する。)を急にする方法である。しかし、格子間隔を急勾配にすると、光信号の短波長成分の反射位置と長波長成分の反射位置との距離が短くなる。その結果、短波長成分と長波長成分との間の光路差が小さくなる。このため、格子間隔を急勾配にすると、波長分散の補償が可能な光信号の伝送距離が短くなるおそれがある。

【0007】第2の方法は、格子間隔の勾配を一定にし

たまま、チャープ・グレーティングの長さを長くする方法である。しかし、チャープ・グレーティングをはじめとするFBGの長さは、FBGを製造する際に使用する位相マスクの長さによって実質的に制約を受ける。例えば、位相マスクの長さは、最大100mm程度である。このため、100mm程度以上の長さのFBGを製造することは困難である。

【0008】その上、FBGが長尺になるほど、FBGの加工精度は低下する。例えば、FBGを長尺化すると、FBGのコアの長手方向に沿った屈折率分布の設計値からのずれが大きくなる。その結果、例えばFBGのブラッグ反射強度が波長によって異なってしまうといった問題が生じる。

【0009】このため、チャープドファイバグレーティングを長尺化することなく、広い波長帯域にわたる複数の波長の光信号の波長分散の補償を図ることができる波長分散補償器および波長分散補償ファイバの出現が望まれていた。

【0010】

【課題を解決するための手段】この出願に係る発明者は、種々の実験および検討を重ねた結果、広い波長帯域にわたる複数の波長の光信号の波長分散を補償を、個々の波長の光信号毎に、個別のチャープドファイバグレーティングで行なえば良いことに想到した。

【0011】そこで、この発明の波長分散補償器によれば、入力ポート、入出力ポートおよび出力ポートを有する光サーキュレータと、入出力ポートに接続された光路上に直列に設けられた、互いに異なるブラッグ反射波長帯域を有する複数のチャープドファイバグレーティングとを具え、チャープドファイバグレーティングの各々を、格子間隔の広い側のグレーティング端を光路上で光サーキュレータ側にそれぞれ向けて設けてあることを特徴とする。

【0012】この発明の波長分散補償器において複数の波長の光信号の波長分散を補償するにあたっては、まず、各光信号をそれぞれ光サーキュレータの入力ポートに入射する。入力ポートに入射した光信号は、光サーキュレータの入出力ポートから出射する。入出力ポートから出射した光信号は、この入出力ポートに接続された光路を進む。

【0013】この光路上には、複数のチャープドファイバグレーティング（チャープ・グレーティング）が直列に設けてある。各チャープ・グレーティングは、それぞれ互いに異なるブラッグ反射波長帯域を有する。このため、複数の波長の光信号は、その光信号の波長を含むブラッグ反射帯域を有するチャープ・グレーティングにおいてそれぞれ反射される。その結果、複数の波長の光信号の波長分散は、例えば、個々の光信号ごとに個別のチャープ・グレーティングにおいてそれぞれ補償される。尚、個々のチャープ・グレーティングにおける波長

分散の補償原理は、従来の補償原理と同じである。

【0014】各チャープ・グレーティングでそれぞれ反射されて補償された各光信号は、それぞれ光サーキュレータの入出力ポートに入射する。入出力ポートに入射した各光信号は、光サーキュレータの出力ポートから出射する。

【0015】このように、この発明の波長分散補償器によれば、互いに異なるブラッグ反射波長帯域を有する複数のチャープドファイバグレーティング（チャープ・グレーティング）を設けている。このため、互いに異なる複数の波長の光信号の波長分散を、それぞれ個別のチャープ・グレーティングで補償することができる。その結果、個々のチャープ・グレーティングの補償可能波長帯域を、1つの波長の光信号の波長分散の補償に必要な波長帯域だけに限定することもできる。無論、チャープ・グレーティングの補償可能波長帯域を、より広い例えば2つの波長の光信号を含む波長帯域に対応した波長帯域に限定しても良い。

【0016】従って、この発明では、個々のチャープ・グレーティングの補償可能波長帯域を、補償対象の各光信号の全ての波長を含む波長帯域にまで広げる必要がない。このため、この発明では、各チャープ・グレーティングを長尺化する必要がない。そして、この発明では、光信号の複数の波長にそれぞれ合わせて、複数のチャープ・グレーティングを設けることができるので、広い波長帯域にわたる複数の波長の光信号の波長分散の補償を図ることができる。従って、この発明によれば、FBGを長尺化することなく広い波長帯域にわたる複数の波長の光信号の波長分散の補償を図ることができる。

【0017】ところで、チャープドファイバグレーティングをはじめとするFBGを透過する光は、そのFBGのブラッグ反射波長よりも短波長側の成分に損失が発生する（例えば、文献2：「電子情報通信学会論文誌C-1 Vol. J80-C-1 No. 1 pp. 32-40 1997年1月」の第35頁の図6参照。）。

【0018】そこで、グレーティングのブラッグ反射波長よりも短波長側の成分の損失の発生を抑制するために、この発明の波長分散補償器において、好ましくは、チャープドファイバグレーティングを、ブラッグ反射波長帯域の波長が短い順に、光サーキュレータ側から設けてあるのが良い。

【0019】このように、この発明の波長分散補償器において、ブラッグ反射波長帯域の波長が短い順にチャープ・グレーティングを配置すれば、各波長の光信号は、当該光信号の波長よりも短いブラッグ反射波長帯域を有するチャープ・グレーティングを透過することになる。すなわち、各光信号の波長が、当該光信号の透過するチャープ・グレーティングのブラッグ反射波長よりも短くなる場合を無くすることができる。その結果、前述した

ブラッグ反射波長よりも短波長側の成分であるために生じる損失が、各光信号に発生することを回避することができる。このため、チャープ・グレーティングにおける光信号の強度の損失の発生を抑制することができる。

【0020】ところで、各チャープ・グレーティングにおいて補償できる最大時間差は、当該チャープ・グレーティングの長さの2倍の光路差に相当する時間差である。従って、波長分散による長波長成分と短波長成分との時間差が、この最大時間差よりも大きくなるような場合には、チャープ・グレーティングでの1回の反射による補償だけでは、十分な補償ができないおそれがある。

【0021】そこで、より大きな波長分散の補償を図るために、この発明の波長分散補償器において、好ましくは、入出力ポートを複数個とし、それぞれの光路上に設けられたチャープドファイバグレーティングの個数を同数とし、光路毎のこれらチャープドファイバグレーティングの異なるブラッグ反射波長帯域の組合せを、各光路で、同一の組合せとしてあると良い。

【0022】光サーキュレータの入力ポートに入射した複数の波長の光信号は、まず、光サーキュレータの1番目の入出力ポートから出射する。1番目の入出力ポートから出射した各光信号は、各チャープ・グレーティングのいずれかで波長毎に反射されてある程度波長分散補償されて、1番目の入出力ポートに入射する。

【0023】次に、1番目の入出力ポートから入射した各光信号は、光サーキュレータの2番目の入出力ポートから出射する。2番目の入出力ポートから出射した各光信号は、各チャープ・グレーティングのいずれかで波長毎に反射されて、さらに波長分散補償されて、2番目の入出力ポートに入射する。この段階では、ある程度補償された光信号をさらに補償するので、より一層波長分散の補償を図ることができる。さらに、3番目以上の入出力ポートを設けて、波長分散補償を繰返しても良い。

【0024】このように、光サーキュレータの入出力ポートを複数個とし、各光路ごとのチャープ・グレーティングの異なるブラッグ反射波長帯域の組合せを、各光路で同一の組合せてすれば、複数の波長の光信号の波長分散の補償を、各波長の光信号についてそれぞれ複数回行なうことができる。その結果、チャープ・グレーティングでの1回の反射で補償できる最大時間差以上の大きさの波長分散を補償することができる。このため、より大きな波長分散の補償を図ることができる。

【0025】また、波長分散の補償を図る場合には、補償に必要な波長成分間の光路長差を、複数のチャープ・グレーティングで分けて生じさせることができる。このため、個々のチャープ・グレーティングで生じさせる光路長差を小さくすることができる。その結果、個々のチャープ・グレーティングの長さを短くすることができる。また、個々のチャープ・グレーティングの勾配を急勾配とすることもできる。

【0026】また、この発明の波長分散補償器において、好ましくは、前記光路を、光ファイバを以て構成してあり、該光ファイバのコアに、複数の前記チャープドファイバグレーティングをそれぞれ形成してあるのが良い。

【0027】このように、複数のチャープドファイバグレーティングを1本の光ファイバに形成すれば、個々のチャープドファイバグレーティングどうしを融着したりコネクタを介して接続する場合に比べて、接続による光信号の損失の発生を抑制することができる。尚、複数のチャープドファイバグレーティングを形成したこの光ファイバは、後述する、この発明の波長分散補償ファイバに相当する。

【0028】この発明の波長分散補償ファイバによれば、光ファイバのコアに、互いに異なるブラッグ反射波長帯域を有する複数のチャープドファイバグレーティングを、当該光ファイバの軸方向に沿って直列にそれぞれ設けてあり、チャープドファイバグレーティングの各々を、格子間隔の広い側のグレーティング端を軸方向の一方の向きにそれぞれ向けて設けてあることを特徴とする。

【0029】このように、この発明の波長分散補償ファイバによれば、光ファイバのコアに、互いに異なるブラッグ反射波長帯域を有する複数のチャープドファイバグレーティング（チャープ・グレーティング）を設けている。このため、互いに異なる複数の波長の光信号の波長分散を、それぞれ個別のチャープ・グレーティングで補償することができる。その結果、個々のチャープ・グレーティングの補償可能波長帯域を、補償対象の各光信号の全ての波長を含む波長帯域にまで広げることがない。このため、この発明では、個々のチャープ・グレーティングを長尺化する必要がない。そして、この発明では、チャープ・グレーティングの数を増やすことにより、より広い波長帯域にわたるより多くの波長の光信号の波長分散の補償を図ることができる。従って、この発明によれば、チャープドファイバグレーティングを長尺化することなく、広い波長帯域わたる複数の波長の光信号の波長分散の補償を図ることができる。

【0030】また、この発明の波長分散補償ファイバにおいて、好ましくは、チャープドファイバグレーティングを、格子間隔の広い側のグレーティング端の軸方向からブラッグ反射波長帯域の波長の短い順に設けてあると良い。

【0031】このように、この発明の波長分散補償ファイバにおいて、格子間隔の広い側のグレーティング端の軸方向からブラッグ反射波長帯域の波長が短い順にチャープドファイバグレーティングを配置すれば、チャープドファイバグレーティングにおける光信号の強度の損失の発生を抑制することができる。

【0032】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、この発明の波長分散補償器および波長分散補償ファイバの実施の形態について併せて説明する。尚、参照する図面は、この発明が理解できる程度に各構成成分の大きさ、形状および配置関係を概略的に示してあるに過ぎない。従って、この発明は図示例に限定されるものではない。

【0033】(第1の実施の形態)図1を参照して、第1の実施の形態の波長分散補償器について説明する。図1は、第1の実施の形態の波長分散補償器の説明に供する構成図である。

【0034】第1の実施の形態の波長分散補償器は、光サーキュレータ10を見えている。この光サーキュレータ10は、入力ポート12、入出力ポート14および出力ポート16を有する。

【0035】そして、この入出力ポート14には、光路18が接続されている。この光路18上には、複数のチャープドファイバグレーティング(チャープ・グレーティング)20が直列に設けてある。チャープ・グレーティング20の各々は、互いに異なるブラッグ反射波長帯域を有する。

【0036】この実施の形態では、チャープ・グレーティング20として、第1チャープ・グレーティング22、第2チャープ・グレーティング24および第3チャープ・グレーティング26を設けている。

【0037】そして、この第1チャープ・グレーティング22は、波長 $\lambda a \sim \lambda b$ ($\lambda a < \lambda b$)のブラッグ反射波長帯域を有する。また、この第2チャープ・グレーティング24は、波長 $\lambda b \sim \lambda c$ ($\lambda b < \lambda c$)のブラッグ反射波長帯域を有する。また、この第3チャープ・グレーティング26は、波長 $\lambda c \sim \lambda d$ ($\lambda c < \lambda d$)のブラッグ反射波長帯域を有する。尚、この実施の形態では、チャープ・グレーティング20の各々のブラッグ反射波長帯域どうしを連続させているが、この発明では、ブラッグ反射波長帯域どうしは、必ずしも連続してなくとも良い。

【0038】尚、図1においては、チャープ・グレーティング22、24および26の部分に回折格子模様を模式的に示してあるが、この回折格子模様の格子間隔は、実際の格子間隔とは関係ない。実際の格子間隔は、チャープ・グレーティング毎に異なっている。

【0039】また、この実施の形態においては、チャープ・グレーティング20の各々を、ブラッグ反射波長帯域の波長が短い順にサーキュレータ10側から配置してある。すなわち、光路18上に、光サーキュレータ10側から第1チャープ・グレーティング22、第2チャープ・グレーティング24および第3チャープ・グレーティング26の順に設けてある。

【0040】また、チャープ・グレーティング20の各々は、格子間隔の広い側のグレーティング端を光路18上で光サーキュレータ10側にそれぞれ向けて設けてあ

る。具体的には、第1、第2および第3チャープ・グレーティング22、24および26は、それぞれの格子間隔の広い側のグレーティング端22a、24aおよび26aをそれぞれ光サーキュレータ10側(図1の紙面上で左側)に向けて配置してある。

【0041】また、この実施の形態においては、光路18を光ファイバ(波長分散補償ファイバ)28で以って構成してある。

【0042】ここで、図2を参照して、この実施の形態の波長分散補償器の光路18を構成する波長分散補償ファイバ28について説明する。図2は、波長分散補償ファイバ28の説明に供する模式図であり、光ファイバの軸方向に沿った断面図である。

【0043】尚、図2においては、断面を表すハッチングを省略する。また、図2においては、チャープ・グレーティング22、24および26の部分に回折格子模様を模式的に示してあるが、この回折格子模様の格子間隔は、実際の格子間隔とは関係ない。実際の格子間隔は、ブラッグ反射波長帯域が互いに異なるためにチャープ・グレーティング毎に異なっている。

【0044】この波長分散補償ファイバ28は、ファイバ28の軸方向の中心部のコア30と、その周囲のクラッド32を以って構成されている。そして、このコア30に、複数のチャープ・グレーティングを光ファイバ28の軸方向に沿って直列にそれぞれ形成してある。

【0045】また、この実施の形態で用いる光ファイバ28は、酸化シリコン(SiO_2)を主成分とする材料で形成されている。また、この光ファイバ28の直径は、110~130 μm 程度である。また、コア30の直径は10 μm 程度である。また、隣り合ったチャープ・グレーティングどうしの間隔は、任意の間隔として良い。例えば、隣り合ったチャープ・グレーティングの間隔をあけずに連続させても良い。

【0046】光ファイバ28のコア30にチャープ・グレーティングを形成するにあたっては従来周知のFBGの形成方法を用いると良い。このFBGの形成方法としては、例えば、文献3:「米国特許5367588号」に開示されている位相マスク法を用いると良い。

【0047】位相マスク法においては、位相マスクを介して光ファイバに紫外線光を照射する。この発明の波長分散補償ファイバ28においては、個々のチャープ・グレーティングごとに、個別の位相マスクを介して紫外線光を照射する。このため、位相マスクの大きさは、個々のチャープ・グレーティングの長さ程度(例えば100 μm 程度)で良い。従って、波長分散補償ファイバ28全体の長さは、位相マスクの大きさの制約を受けない。

【0048】各位相マスクは、紫外線光の透過が可能な板状体である。この板状体の表面には、複数の凹凸が形成されている。各凹部は、徐々に間隔を広くしながら直線的に配列している。そして、位相マスクに照射され

た紫外線光は、これら凹部により回折する。その回折光の強度は、凹部の配列間隔に応じた位置で強められたり弱められたりする。一方、光ファイバのコアは、紫外線光の照射によってその屈折率が変化する材料で形成されている（このような光ファイバを光感光性ファイバと称する。）。この回折光が光ファイバに対して照射されることにより、光ファイバのコアに、光ファイバの軸方向（延在方向、長手方向、光導波方向）に沿って、チャープグレーティングが形成される。

【0049】次に、第1の実施の形態の波長分散補償器に、波長 λ_1 、 λ_2 および λ_3 の波長が多重された波長多重光信号の波長分散を補償する例について説明する。

【0050】この波長 λ_1 は、第1チャープ・グレーティング22のブラッグ反射波長帯域（ $\lambda a \sim \lambda b$ ）に含まれるものとする。すなわち、 $\lambda a < \lambda_1 < \lambda b$ の関係が成り立つ。また、波長 λ_2 は、第2チャープ・グレーティング24のブラッグ反射波長帯域（ $\lambda b \sim \lambda c$ ）に含まれるものとする。すなわち、 $\lambda b < \lambda_2 < \lambda c$ の関係が成り立つ。また、波長 λ_3 は、第3チャープ・グレーティング26のブラッグ反射波長帯域（ $\lambda c \sim \lambda d$ ）に含まれるものとする。すなわち、 $\lambda c < \lambda_3 < \lambda d$ の関係が成り立つ。

【0051】また、実際の波長多重光信号では、例えば、1550nm付近を中心波長として、約0.8nm間隔で32～40個の波長の光信号を用いる。その場合は、波長の数に合わせて、例えば32個のチャープ・グレーティングを設け、個々のチャープ・グレーティングのブラッグ反射波長帯域を光信号の各波長にそれぞれ対応させると良い。

【0052】そして、波長分散の補償を行なうにあたり、波長 λ_1 、 λ_2 および λ_3 の光信号を、それぞれ光サーキュレータ10の入力ポート12に入射する。尚、各光信号は、入力ポート12に同時に入射しても良い。また、各光信号は、互いに異なる時刻に入射しても良い。その場合、各波長の光信号の入射の順序は問わない。

【0053】入力ポートに入射した各光信号は、光サーキュレータ10の入出力ポート14から出射する。入出力ポート14から出射した光信号は、この入出力ポートに接続された光路（波長分散補償ファイバ）18（28）に入射する。

【0054】この光路18（28）に入射した各光信号は、まず、第1チャープ・グレーティング22に、その格子間隔の広い側のグレーティング端22aから入射する。そして、第1チャープ・グレーティング22において、そのブラッグ反射波長帯域（ $\lambda a \sim \lambda b$ ）に含まれる波長 λ_1 の光信号のみが反射される。また、波長 λ_2 および λ_3 の光信号は、第1チャープ・グレーティング22を透過する。

【0055】そして、波長 λ_1 の光信号の波長分散は、

第1チャープ・グレーティングで反射されることによって補償される。この補償の原理は、後で図3を参照して説明するように、従来のチャープ・グレーティングの補償の原理と同じである。

【0056】次に、第1チャープ・グレーティング22を透過した波長 λ_2 および λ_3 の光信号は、第2チャープ・グレーティング24に、その格子間隔の広い側のグレーティング端24aから入射する。そして、第2チャープ・グレーティング24において、そのブラッグ反射波長帯域（ $\lambda b \sim \lambda c$ ）に含まれる波長 λ_2 の光信号のみが反射される。また、波長 λ_3 の光信号は、第2チャープ・グレーティング24を透過する。

【0057】そして、波長 λ_2 の光信号の波長分散は、第2チャープ・グレーティング24で反射されることによって補償される。

【0058】次に、第2チャープ・グレーティング24を透過した波長 λ_3 の光信号は、第3チャープ・グレーティング26に、その格子間隔の広い側のグレーティング端26aから入射する。そして、第3チャープ・グレーティング26のブラッグ反射波長帯域（ $\lambda c \sim \lambda d$ ）に含まれる波長 λ_3 の光信号は、第3チャープ・グレーティング26において反射される。そして、波長 λ_3 の光信号の波長分散は、第3チャープ・グレーティング26で反射されることによって補償される。

【0059】また、チャープ・グレーティング20の各々でそれぞれ反射されて補償された各光信号は、それぞれ光サーキュレータ10の入出力ポート14に入射する。入出力ポート14に入射した各光信号は、光サーキュレータ10の出力ポート16から出射する。

【0060】このようにして、波長 λ_1 、 λ_2 および λ_3 の光信号の波長分散をそれぞれ補償することができる。

【0061】また、この実施の形態においては、チャープ・グレーティング20の各々をそのブラッグ反射波長帯域の短い順に、光サーキュレータ10側から配置してあるので、波長 λ_1 、 λ_2 および λ_3 のいずれの光信号も、その光信号の波長よりもブラッグ反射波長帯域が長いグレーティングを透過することがない。従って、光信号の強度の損失の発生を抑制することができる。

【0062】次に、図3を参照して、チャープ・グレーティングの補償原理について説明する。図3は、チャープ・グレーティングの補償原理の説明に供する模式図である。図3では、第1チャープ・グレーティング22を拡大して模式的に示す。

【0063】まず、チャープ・グレーティングの構成について説明する。図3に示すように、第1チャープ・グレーティング22の格子間隔の最も広い部分の間隔を Λ_L とする。また、格子間隔の最も狭い部分の間隔を Λ_S とする。この格子間隔と、ブラッグ反射波長帯域の最大ブラッグ反射波長 λb および最小ブラッグ反射波長 λa

との間には、それぞれ下記の(1)式および(2)式の関係が成り立つ。

$$[\text{0064}] \lambda a = 2 \cdot n_{\text{eff}} \cdot \Lambda_s \cdots (1)$$

$$\lambda b = 2 \cdot n_{\text{eff}} \cdot \Lambda_L \cdots (2)$$

但し、 n_{eff} は、光ファイバ28のコア30の実効屈折率を表す。

【0065】また、第1チャープ・グレーティング22の長さLと、その補償可能波長帯域の幅であるブラッグ反射波長帯域幅 $\Delta\lambda$ ($=\lambda b - \lambda a$)との間には、下記の(3)式の関係が成り立つ。

$$[\text{0066}] L = (D \cdot V_g \cdot \Delta\lambda) / 2 \cdots (3)$$

但し、Dは、逆分散量を表し、 V_g は、群速度を表す。

【0067】ここで、例えば、1nm間隔で8つに波長分割された波長多重光信号の分散を補償する例について検討する。この光信号の波長の帯域は、8nm ($=1\text{ nm} \times 8$) にわたっている。

【0068】8nmにわたる波長帯域を従来のように1つのチャープ・グレーティングで補償しようとする、グレーティングが極めて長尺となる。具体的には、上記の(3)式に、 $\Delta\lambda = 8\text{ nm}$ 、 $D = 1800 \times 10^3 \text{ p s/nm}$ 、 $V_g = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ をそれぞれ代入して計算すると、グレーティングの長さLは、約2mとなる。これに対して、現在の位相マスク法で形成できるFBGの長さは、せいぜい100mm程度である。従って、2mもの長尺のチャープ・グレーティングを形成することは極めて困難である。

【0069】この点、この発明においては、1つのチャープ・グレーティングで、1つの波長の波長分散だけを補償できれば良い。1つの波長の光信号の波長幅は、例えば 10^{-3} nm のオーダーである。一方、 $L = 100\text{ mm}$ のチャープ・グレーティングの補償可能波長帯域の幅は、この長さを上記の(3)式に代入して計算すると、 $\Delta\lambda = 0.4\text{ nm}$ 程度となる。従って、1つの波長の光信号の波長分散を補償するためならば、チャープ・グレーティングの長さは、 $L = 100\text{ mm}$ 程度で十分であることが分かる。

【0070】次に、波長 λ_1 の光信号が、第1チャープ・グレーティング22で反射される場合について説明する。

【0071】波長 λ_1 の光信号には、波長幅がある。ここでは、この光信号の長波長成分を λ_L ($=\lambda_1 + \Delta$)と表す。また、この光信号の短波長成分を $\lambda_s = (\lambda_1 - \Delta)$ と表す。波長分散の生じた光信号では、長波長成分 λ_L は、短波長成分 λ_s よりも遅れて第1チャープ・グレーティング22に入射する。

【0072】第1チャープ・グレーティング22に、その格子間隔の広い側(図3の紙面の左側)から入射した短波長成分は、入射端から遠い位置 x_2 で反射される。一方、長波長成分は、入射端に近い位置 x_1 で反射される。その結果、短波長成分と長波長成分との間には、こ

れらの反射位置間の距離 Δx の2倍の光路差 $2\Delta x$ が生じる。その結果、この光路差の分だけ長波長成分と短波長成分との時間差を短縮して、波長分散を補償することができる。

【0073】(変形例)次に、図4を参照して、第1の実施の形態の波長分散補償器の変形例について説明する。図4は、波長分散補償器の変形例の説明に供する構成図である。

【0074】この変形例においては、光路18a上に、チャープ・グレーティング20aとして、第12チャープ・グレーティング34および第3チャープ・グレーティング26を設けてある。

【0075】この第12チャープ・グレーティング34の格子間隔は連続的に変化させてある。そして、この第12チャープ・グレーティング34は、 $\lambda a \sim \lambda c$ のブラッグ反射波長帯域を有する。従って、第12チャープ・グレーティング34は、その格子間隔の広い側のグレーティング端34aから入射した、波長 λ_1 、 λ_2 および λ_3 の光信号のうちの、波長 λ_1 および λ_2 の両方の光信号をそれぞれ反射する。その結果、波長 λ_1 および λ_2 の光信号は、それぞれ第12チャープ・グレーティング34において、波長分散が補償される。

【0076】また、 λ_3 の光信号は、第1の実施の形態の場合と同様に、第3チャープ・グレーティング26において反射されることによって、波長分散が補償される。

【0077】(第2の実施の形態)次に、図5を参照して、第2の実施の形態の波長分散補償器について説明する。図5は、第2の実施の形態の波長分散補償器の説明に供する構成図である。

【0078】第2の実施の形態の波長分散補償器の光サークキュレータ10aは、第1入出力ポート14aおよび第2入出力ポート14bの2つの入出力ポートを有する。第1入出力ポート14aは、第1の実施の形態における入出力ポート14に相当する。また、第1入出力ポート14aに接続された第1光路18は、第1の実施の形態における光路18と同一の構成である。すなわち、第1光路18上には、第1の実施の形態と同一の、第1、第2、および第3チャープ・グレーティング22、24および26がそれぞれ設けてある。

【0079】一方、第2入出力ポート14bには、第2光路180が接続されている。この第2光路は、第1光路18と同様に、波長分散補償ファイバで形成されている。そして、この第2光路180上には、第1光路18上のチャープ・グレーティング20の個数と同数の3つのチャープ・グレーティング200が設けてある。具体的には、第2光路180上に、第4、第5および第6チャープ・グレーティング220、240および260がそれぞれ設けてある。

【0080】また、第2の実施の形態においては、第1

光路18のチャープ・グレーティング20の各々の異なるブラッグ反射波長帯域の組合せと、第2光路180のチャープ・グレーティング200の各々の異なるブラッグ反射波長帯域の組合せとを、同一の組合せとしてある。

【0081】具体的には、第4チャープ・グレーティング220のブラッグ反射波長帯域を、第1チャープ・グレーティング22のブラッグ反射波長帯域($\lambda_a \sim \lambda_b$)と同一とする。また、第5チャープ・グレーティング240のブラッグ反射波長帯域を、第2チャープ・グレーティング24のブラッグ反射波長帯域($\lambda_b \sim \lambda_c$)と同一とする。また、第6チャープ・グレーティング260のブラッグ反射波長帯域を、第3チャープ・グレーティング26のブラッグ反射波長帯域($\lambda_c \sim \lambda_d$)と同一とする。

【0082】次に、第2の実施の形態の波長分散補償器において、波長 λ_1 、 λ_2 および λ_3 の光信号の波長分散をそれぞれ補償する例について説明する。

【0083】まず、光サーキュレータ10aの入力ポート12に、各光信号を入射する。入射した各光信号は、第1の実施の形態の場合と同様に、第1入出力ポート14aから第1光路18に入射する。そして、波長 λ_1 、 λ_2 および λ_3 の光信号は、それぞれ、第1、第2および第3チャープ・グレーティング22、24および26において反射されることにより、波長分散の補償が図られる。第1光路18において反射された各光信号は、第1入出力ポート14aに入射する。

【0084】次に、各光信号は、第2入出力ポート14bから第2光路180へ入射する。第2光路180に入射した波長 λ_1 、 λ_2 および λ_3 の光信号は、それぞれ、第4、第5および第6チャープ・グレーティング220、240および260において反射されることにより、波長分散の一層の補償が図られる。

【0085】ここで、図6を参照して、第2の実施の形態の波長分散補償器における波長分散補償について説明する。図6は、第2の実施の形態の波長分散補償の説明に供するグラフである。図6のグラフの横軸は時間(任意単位)を表し、縦軸は光信号強度(任意単位)を表す。

【0086】また、グラフ中の曲線Iは、入力ポート12に入射した段階での光信号(例えば波長 λ_1 の光信号)の分散の様子を示す。この段階の光信号は、波長分散が補償されていない。

【0087】また、曲線IIは、第1光路18上のチャープ・グレーティング20で反射された後の段階での光信号の分散の様子を示す。この段階の光信号は、波長分散がある程度の補償されている。すなわち、曲線IIは、曲線Iに比べて、時間の広がり狭くなっているため、波長分散がある程度補償されたこと示す。

【0088】また、曲線IIIは、第2光路180上のチャープ・グレーティング200で反射された後の段階での

光信号の分散の様子を示す。この段階の光信号は、波長分散がさらに補償されている。すなわち、曲線IIIは、曲線IIに比べて、時間の広がりさらに狭くなっているため、波長分散がさらに補償されたこと示す。

【0089】このように光信号の波長分散の補償を2回行なうことにより、例えば、チャープ・グレーティングにおける1回の反射で補償できる最大時間差以上の大きな波長分散を補償することができる。

【0090】上述した各実施の形態では、これらの発明を特定の材料を用い、特定の条件で構成した例についてのみ説明したが、これらの発明は多くの変更および変形を行うことができる。例えば、上述した実施の形態では、隣り合ったチャープ・グレーティングのブラッグ反射波長帯域どうしを互いに連続させたが、この発明では、各チャープ・グレーティングのブラッグ反射波長帯域どうしは、必ずしも連続していなくとも良い。

【0091】また、上述した実施の形態においては、1つの光路上に3つのチャープ・グレーティングを設けた例について説明したが、この発明では、チャープ・グレーティングの数は3つに限定されない。この発明では、例えば、2つ若しくは4つ以上のチャープ・グレーティングを設けても良い。また、チャープ・グレーティングの数は、例えば、補償対象の光信号の波長数(例えば、WDMの場合の波長多重数(例えば、16個若しくは32個))と同数としても良い。

【0092】また、上述した実施の形態においては、波長 λ_1 、 λ_2 および λ_3 の3つの波長の光信号の例について説明したが、この発明では、光信号の波長数は、これに限定する必要は無く、任意の波長数の光信号の波長分散の補償を図ることが可能である。

【0093】また、この発明では、各波長の光信号は、同時に入力ポート12へ入射する必要はない。例えば、1度に1つの波長の光信号のみを入力ポート12へ入射しても良い。

【0094】また、上述した実施の形態では、光路として波長分散補償ファイバを用いた例について説明したが、この発明では、光路を光ファイバに限定する必要はない。例えば、チャープ・グレーティングどうしを融着したり、コネクタを介して接続しても良い。また、チャープ・グレーティング間において、光信号に空気中や真空中を直進させても良い。

【0095】

【発明の効果】この発明の波長分散補償器および波長分散補償ファイバによれば、互いに異なるブラッグ反射波長帯域を有する複数のチャープドファイバグレーティング(チャープ・グレーティング)を設ける。このため、互いに異なる複数の波長の光信号の波長分散を、それぞれ個別のチャープ・グレーティングで補償することができる。その結果、個々のチャープ・グレーティング

の補償可能波長帯域を、1つの波長の光信号の波長分散の補償に必要な波長帯域だけに限定することもできる。無論、例えば、2つの波長の光信号に対応した波長帯域に限定することもできる。このため、この発明では、個々のチャープ・グレーティングを、補償可能波長帯域を広げるために長尺化する必要がない。そして、この発明では、光信号の複数の波長にそれぞれ合わせて、複数のチャープ・グレーティングを設けることができるので、広い波長帯域にわたる複数の波長の光信号の波長分散の補償を図ることができる。従って、この発明によれば、チャープ・グレーティングを長尺化することなく、広い波長帯域にわたる複数の波長の光信号の波長分散の補償を図ることができる。

【0096】また、この発明の波長分散補償器および波長分散補償ファイバにおいて、ブラッグ反射波長帯域の波長が短い順に光の入射方向からチャープ・グレーティングを配置すれば、各波長の光信号は、当該光信号の波長よりも短いブラッグ反射波長帯域を有するチャープ・グレーティングを透過することになる。すなわち、各光信号の波長が、当該光信号の透過するチャープ・グレーティングのブラッグ反射波長よりも短くなる場合を無くすることができる。その結果、前述したグレーティングのブラッグ反射波長よりも短波長であるために生じる損失が、各光信号に発生することを回避することができる。このため、チャープ・グレーティングにおける光信号の強度の損失の発生を抑制することができる。

【0097】また、この発明の波長分散補償器において、光サーキュレータの入出力ポートを複数個とし、光路ごとのチャープ・グレーティングの異なるブラッグ反射波長帯域の組合せを、各光路で同一の組合せとすれば、複数の波長の光信号の波長分散の補償を、各波長の光信号についてそれぞれ複数回行なうことができる。その結果、チャープ・グレーティングにおける1回の反射で補償できる最大時間差以上の大きさの波長分散を補償することができる。このため、より大きな波長分散の補償を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の第1の実施の形態の波長分散補償器

の説明に供する図である。

【図2】この発明の第1の実施の形態の波長分散補償器を構成する波長分散補償ファイバの説明に供する図である。

【図3】チャープドファイバグレーティングの説明に供する図である。

【図4】この発明の波長分散補償器の変形例の説明に供する図である。

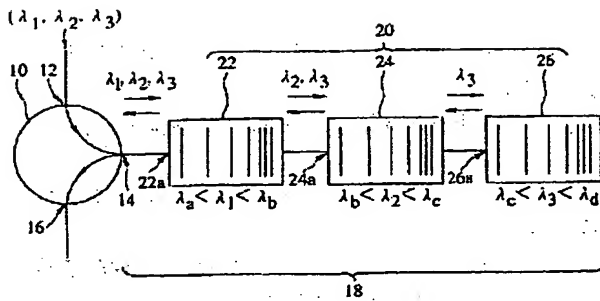
【図5】この発明の第2の実施の形態の波長分散補償器の説明に供する図である。

【図6】この発明の第2の実施の形態の波長分散補償器における波長分散補償の説明に供する図である。

【符号の説明】

- 10、10a：光サーキュレータ
- 12：入力ポート
- 14：入出力ポート
- 14a：第1入出力ポート
- 14b：第2入出力ポート
- 16：出力ポート
- 18：光路、第1光路
- 18a：光路
- 20、20a：チャープドファイバグレーティング
(チャープ・グレーティング)
- 22：第1チャープ・グレーティング
- 22a、24a、26a：グレーティング端
- 24：第2チャープ・グレーティング
- 26：第3チャープ・グレーティング
- 28波長分散補償ファイバ、光ファイバ
- 30：コア
- 32：クラッド
- 34：第12チャープ・グレーティング
- 34a：グレーティング端
- 180：第2光路
- 200：チャープ・グレーティング
- 220：第1チャープ・グレーティング
- 220a、240a、260a：グレーティング端
- 240：第2チャープ・グレーティング
- 260：第3チャープ・グレーティング

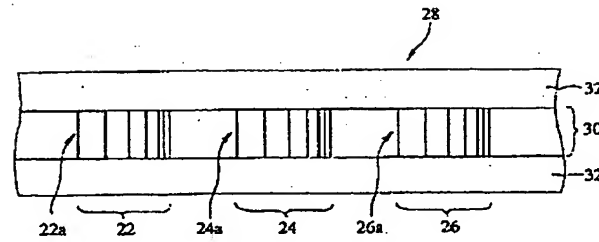
【図1】



10: 光サーキュレータ 12: 入力ポート
14: 入出力ポート 16: 出力ポート
18: 第1光路(光路) 20: チャープ・グレーティング
22: 第1チャープ・グレーティング
22a, 24a, 26a: グレーティング端
24: 第2チャープ・グレーティング
26: 第3チャープ・グレーティング

第1の実施の形態

【図2】

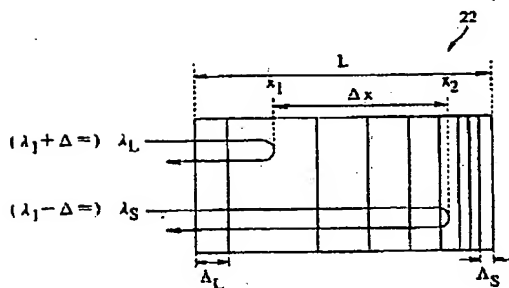


28: 波長分散補償ファイバ
30: コア

32: クラッド

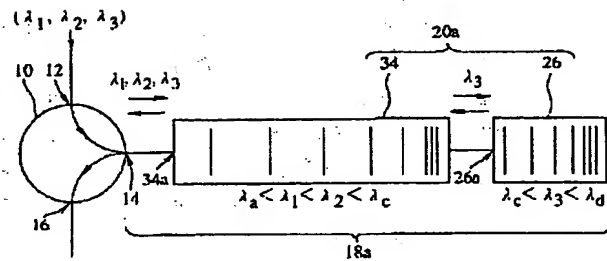
波長分散補償ファイバ

【図3】



チャープ・グレーティング

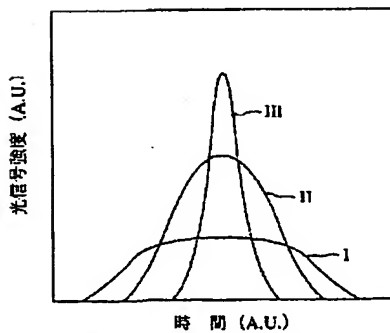
【図4】



18a: 光路 20a: チャープ・グレーティング
34: 第1チャープ・グレーティング 34a: グレーティング端

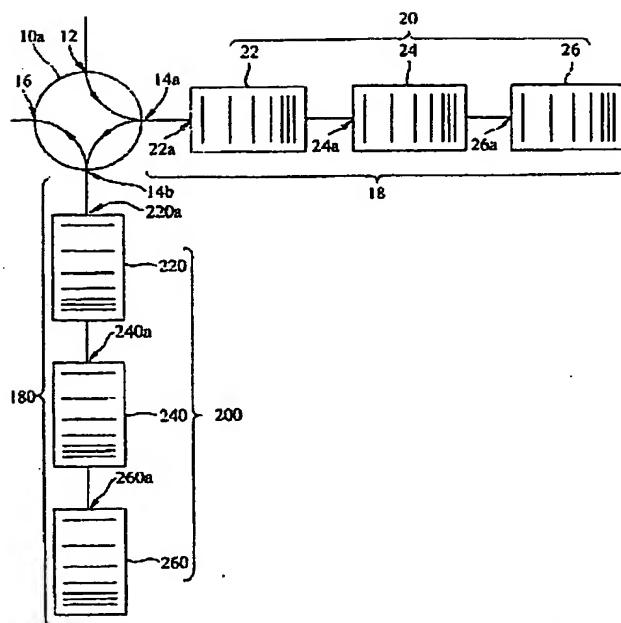
変形例

【図6】



第2の実施の形態における波長分散補償

【図5】



- | | |
|----------------------|----------------|
| 10a : 光サーキュレータ | 14a : 第1入出力ポート |
| 14b : 第2入出力ポート | 180 : 第2光路 |
| 200 : チャープ・グレーティング | |
| 220 : 第4チャープ・グレーティング | |
| 240 : 第5チャープ・グレーティング | |
| 260 : 第6チャープ・グレーティング | |

第2の実施の形態

